

CH 679427 A5



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 679427 A5

⑤① Int. Cl.⁵: G 01 K 11/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳① Gesuchsnummer: 793/89

⑳② Anmeldungsdatum: 03.03.1989

⑳⑦ Inhaber:
Schweizerische Eidgenossenschaft, ETH, Institut
für Energietechnik, Laboratorium für
Verbrennungsmotoren, Zürich

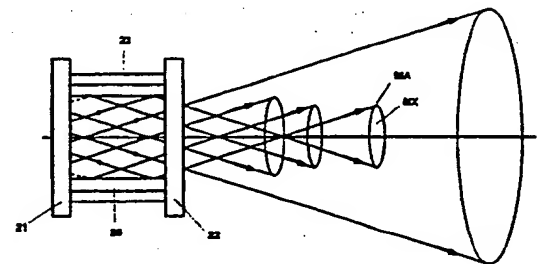
⑳④ Patent erteilt: 14.02.1992

⑳⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 14.02.1992

⑳⑦② Erfinder:
Ineichen, Beat, Dr., Zürich

⑤④ Optisches Sensorelement zum Messen von Temperaturen.

⑤⑦ Das optische Sensorelement zum Messen von Temperaturen, insbesondere von Gastemperaturen, weist einen optischen Resonator (20, 21, 22, 23) als Messfühler auf, der seine Abmessungen in Abhängigkeit von der zu messenden Temperatur verändert. Diese Änderung bewirkt eine Änderung der Intensität und/oder der Phasenlage von dem Messfühler (2) zugeführtem und von diesem reflektiertem Licht, woraus die zu messende Temperatur optisch-elektronisch bestimmt wird.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein optisches Sensorelement zum Messen von Temperaturen, auf einen Temperatur-Messfühler für ein derartiges System, sowie eine Brennkraftmaschine mit einem derartigen optischen Sensorsystem.

Optische Temperatur-Sensorsysteme haben den Vorteil, dass sie gegen elektromagnetische Störungen, chemisch aggressive Umgebungsbedingungen weitgehend unempfindlich, d.h. korrosionsfest sind oder gemacht werden können. Dank der hohen Flexibilität von z.B. Glasfasern, aber auch aufgrund möglicher, raum- und gewichtsparender Miniaturisierung, finden optische Temperatur-Sensorsysteme vermehrt Verwendung in der Industrie.

Mit den optischen Faserthermometern ist es möglich, in örtlich eng begrenzten Gebieten, die Umgebung nicht störende oder verändernde Messungen selbst in aggressivster Umgebung zu machen. Optische Fasern mit äusserst geringer Dämpfung für Licht, wie sie heute zur Verfügung stehen, erlauben auch das Anordnen der Sende-, Empfangs- und Messelektronik, bzw. -einrichtung in beträchtlicher Entfernung von der Messstelle. Bei den optischen Faser-Sensoren für die Temperaturmessung unterscheidet man heute zwischen Wandlern und Vollfasersensoren.

Einzelheiten dazu finden sich beispielsweise in der Literatur in Ovren, C. et. al. «Fibre Optic Systems for Temperature Measurements in Industrial Applications», Proc. Int. Conf. on Optical Techniques in Process Control, p. 67; Kyuma, K. et. al. «Fibre Optic Instrument for Temperature Measurement», IEEE J. Quantum Electron. OE-18, 676 (1982) zu denjenigen vom Typ Wandlern, sowie in Kist, R. et. al. «Fibre-Fabry-Perot Thermometer for Medical Applications», Proc. Ofs' 84, p. 165, VDE-Verlag GmbH, Berlin (1984); Brenci, M. et. al. «A Fibre Optic Temperature Measuring Apparatus» in Proc. EFOC-Lan. 85, p. 218, Barry, Boston (1985); Dils, R. R. «Light Temperature Optical Fiber Thermometer» J. Appl. Phys. 54, 1198 (1983) und Meltz, G. et. al. «Cross Talk Fiber Optic Temperature Sensor», Appl. Opt. 22 464, (1983) zu denjenigen vom Typ Vollfasersensor.

Bisher bekannte optische Sensorelemente für die Temperaturmessung waren bisher im Bereich hoher Temperaturen von etwa 2300°K, wie sie z.B. bei Brennkraftmaschinen wie Diesel- oder Ottomotoren, oder Gasturbinen auftreten, aus verschiedenen Gründen nicht verwendbar. Die Sensoren erlaubten zum einen die Bestimmung der Gastemperatur nicht und zum andern waren damit die erforderlichen Ansprechzeiten von 1 ms nicht erreichbar. Zudem sind bekannte Lichtfaser-Temperatur-Sensor-Systeme nur bis zu Temperaturen im Bereich von etwa 1000°K brauchbar. Weiter war mit bisherigen Sensorelementen zum Messen von Temperaturen die erforderliche Messgenauigkeit in vielen Fällen nicht erreichbar.

Das optische Sensorelement nach der Erfindung weist diese Nachteile nicht auf. Aufgabe der Erfindung ist es, ein optisches Sensorelement zum Messen der Temperatur, sowie einen Temperaturfühler zu schaffen, die erlauben, bei kurzer Ansprechzeit im Bereich von 1 ms, im Temperaturbereich von wenigen hundert Grad Kelvin bis über 2300°K Temperaturen, insbesondere Gastemperaturen, mit hoher Genauigkeit zu bestimmen. Erfindungsgemäss werden diese Aufgaben mit einem optischen Sensorelement für die Temperaturmessung, bzw. mit einem Temperatur-Messfühler mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche 1 bzw. 12 gelöst. Derartige optische Sensorelemente nach der Erfindung sind beispielsweise in Brennkraftmaschinen wie Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen unter schwierigsten thermischen Verhältnissen und korrosiver Umgebung zum Bestimmen der Gastemperatur im Brennraum und/oder Abgassystem verwendbar. Die abhängigen Ansprüche beziehen sich auf besonders vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen und Teilen davon näher erläutert.
Es zeigen:

- Fig. 1 schematisch den Aufbau einer faseroptischen Gastemperatur-Sonde in einer Seitenansicht;
- Fig. 2 vergrössert und schematisch den Aufbau eines optischen Messorgans zum Bestimmen der Gastemperatur sowie den Strahlengang bei einer Mess-Anordnung mit einer Lichtquelle;
- Fig. 3 vergrössert und schematisch den Aufbau eines optischen Messorgans zum Bestimmen der Gastemperatur sowie den Strahlengang bei einer Mess-Anordnung mit zwei Lichtquellen;
- Fig. 4 ein Beispiel von optischen Transmissions-Minima und -Maxima;
- Fig. 5 schematisch ein Beispiel des Aufbaus eines optischen Sensorelements zur Temperaturmessung mit zwei Lichtquellen und das Blockschema einer Sender- und Empfänger- und Auswerte-Elektronik.

Bei der optischen Messsonde 1 von Fig. 1 wird das Messlicht von der nicht gezeichneten Lichtquelle über einen Lichtleiter 11, eine Licht-Faserkupplung 12, dem Hochtemperatur-Lichtleiter 13 dem Temperatur-Sensor 10, beispielsweise einem Fabry-Perot-Element, zugeführt, der am Ende des Hochtemperatur-Lichtleiters 13 angebracht ist. Mit Vorteil sind die Lichtleiter 11 und 13 sowie die Licht-Faserkupplung 12 zwei- bzw. mehrfasrig ausgeführt, und das gesendete und das reflektierte Lichtsignal über verschiedene Fasern geführt. Der Temperatursensor 10 kann beispielsweise in Bedampfungs- und Atztechnik, aufgebracht, bzw. hergestellt werden.

Der in Fig. 2, im Schnitt gezeigte Temperatur-Sensor 2, einem Fabry-Perot Sensor, wird von den bei-

den quer zur Licht- und Faserrichtung angeordneten dielektrischen, mehrschichtigen Spiegel, bzw. Deckplatten 21 und 22, sowie dem hohlzylinderförmigen Distanzstück 23, gebildet, die alle zusammen den Hohlraum 20, die eigentliche Interferenzkammer bilden. Derartige Thermosensoren werden auch Etalon genannt. Die Deckplatten 21 und 22 können z.B. zehn bis zwanzig Schichten aufweisen, die zusammen eine Dicke im Bereich von etwa 10μ erreichen. Der Hohlraum 20 im Distanzstück 23 kann beispielsweise eine Länge in Lichtrichtung und einen Durchmesser von je etwa 50μ aufweisen. Die Länge des Distanzstücks 23 und damit die Transmission, bzw. Reflexion des Lichts verändert sich mit der Temperatur, d.h. die optische Resonatorlänge ändert sich.

Die mehrschichtigen dielektrischen Deckplatten 21 und 22 sind so aufgebaut, dass sich der Brechungsindex in der Deckplatte in Lichtrichtung von jenem des nicht gezeichneten Lichtleiters zu jenem des Hohlraums 20 und umgekehrt verändert, bzw. anpasst. Damit kann ein praktisch reflexionsloser Übergang des Lichtes vom Lichtleiter über die Deckplatte 21, bzw. 22 in den Hohlraum 20 und umgekehrt erreicht werden. Das in der Interferenzkammer 20 interferierte Licht gelangt als konzentrische, kegelförmige Maxima und Minima in die ebenfalls nicht gezeichnete Rückleit-Lichtfaser.

Fig. 4 zeigt das typische Maxima-Minima-Lichtmuster 4 mit den Minima MA und den Maxima MX in einer Querschnittebene durch den Lichtleiter.

Fig. 3 zeigt schematisch Interferenzmuster, bzw. das Maxima-Minima-Lichtmuster des Temperatur-Sensors 3, für das Licht zweier Lichtquellen verschiedener Wellenlänge von z.B. 660 nm und 840 nm .

Der optische Resonator zeigt maximale Transmission, bzw. Reflexion, wenn die Phasendifferenz (round trip phase) zwischen einfallender und reflektierter Welle

$$\phi = \frac{2n \cdot L}{\lambda_0} 2\pi$$

ist.

Jede Änderung der optischen Weglänge $n \cdot L$ und/oder der Wellenlänge λ_0 hat eine Phasenänderung

$$d\phi = \frac{4\pi}{\lambda_0} d(n \cdot L) \cdot \frac{4\pi (n \cdot L)}{\lambda_0} d\lambda_0$$

zur Folge.

Die Transmission $T(\phi)$ als Funktion der Phase (ϕ) wird durch die Beziehung

$$T_\phi = T_{\text{MAX}} \left[1 + \left(\frac{2F}{\lambda} \right) \sin^2 \left(\frac{\phi}{2} \right) \right]^{-1}$$

beschrieben.

Dabei ist $F = \pi \sqrt{r_1 \cdot r_2} / (1 - r_1 r_2)$ die Finesse des Resonators. Die Transmissionsmaxima wiederholen sich mit jedem Phasenintervall (Fig. 2).

Die Signalfolge kann man auch erhalten, wenn die Frequenz des Lasers so geändert wird, dass Wellenlänge um rund $0,007 \text{ nm}$ bei $\lambda_0 = 780 \text{ nm}$ verändern würde.

Bei dem beschriebenen Temperatur-Mess-Sensor kann der Einfluss der zu messenden Temperatur einerseits bei konstanter Wellenlänge durch Detektion der aufeinanderfolgenden Transmissions-Maxima und -Minima erfasst und andererseits durch Nachregelung der Wellenlänge der Lichtquelle, z.B. einer Laserdiode kalibriert werden.

Das Problem der Vorzeichenbestimmung bei der Temperaturmessung wird so gelöst, dass der Durchmesser der Interferenzkammer 2 so gewählt wird, dass bei der Benutzung zweier Laserdioden, deren Wellenlängen so gewählt sind, dass sie in unterschiedlichem Modus und somit mit einer anderen resultierenden Brechkraft angeregt werden. Das Transmissionsmuster besteht dann aus der Überlagerung zweier Folgen von Maxima, wie dies in Fig. 3 gezeigt ist. Die Analyse dieser Muster aufeinanderfolgender Doppelmaxima erlaubt die Unterscheidung des Vorzeichens der Temperaturänderung, d.h. zu unterscheiden, ob die Temperatur gestiegen oder gesunken ist. Damit werden kurze Ansprechzeiten der Temperaturmessung, bzw. eine rasche Messfolge, möglich. Zusätzlich sind die aufgedampften Schichtdicken so gewählt, dass der Temperatursensor zwei voneinander unabhängige Resonatoren enthält. Bei linearer Einstrahlung, mit Licht, dessen Polarisationssebene in der Hauptachse des Messsensors liegt, erzeugt jeder dieser Resonatoren ein Maxima-Minima-Muster mit unterschiedlichem freien Spektralbereich. In diesem Fall sieht der Detektor eine Folge von Doppelmaxima, die zur Eichung jeder Temperaturmessung eigentlichen Temperaturmessung dienen. Dadurch wird es möglich, die Temperatur absolut und mit einer Messgenauigkeit von 0.05% ohne Nacheichung durchzuführen.

Bei der in Fig. 5 dargestellten Mess- und Auswerteanordnung wird das Licht der beiden Laser-Lichtquellen 51 und 52 verschiedener Wellenlänge in die ersten Lichtleitfasern eingekoppelt und zum Temperatur-Messfühler mit dem Sensor 510 geleitet. Das optische Temperatursignal wird über zweite Lichtleitfasern rückgeführt und zu den beiden Detektoren 51' und 52' ausgekoppelt. Das Licht der Lichtquellen 51 und 52 wird aufgrund des gemessenen, reflektierten Signales mit einer Regelschaltung 53 für die Lichtquelle auf einen Sollwert geregelt, indem der Stärke des Injektionsstroms der Laserdioden 51, 52 verändert wird. Gesteuert wird diese Stromstärkenänderung z.B. von einem Empfänger-Eingangsmultiplexer 53.

Bei Änderungen der zu messenden Temperatur ändert sich das Signal, d.h. das Intensitätsmuster des reflektierten Lichts der beiden Lichtquellen gemäss der Resonatorcurve des Sensors 510. Aus den beiden Lichtsignalen wird bei dieser Zwei-Frequenzmethode nach dem Heterodynverfahren, eine Schwebungsfrequenz erzeugt, durch deren Phasenlage die zu messende Temperatur bestimmt ist.

Bei dem in Fig. 5 gezeigten Mess- und Auswertekonzept wird also das vom Detektor gemessene Signal durch einen Regler auf einem Sollwert gehalten. Bei Veränderung der zu messenden Temperatur ändert sich das Signal gemäss der Resonatorcurve des Etalons oder Resonators 510. Der Regler ändert daraufhin den Injektionsstrom der Laserdiode so, dass die dadurch hervorgerufene Änderung der Wellenlänge die Signalabweichung auf den Sollwert zurückführt. Zusätzlich wird ein Heterodyn- oder Schwebungs-Frequenz-Verfahren benutzt. Diese Messmethode macht die Messung unabhängig von internen und externen Laserlicht-Intensitätsverlusten, wie z.B. Absorptionsverlusten im Lichtwellenleiter oder Kopplungsverlusten.

Patentansprüche

1. Optisches Sensorelement (2) zum Messen von Temperaturen, insbesondere von Gastemperaturen, mit einem Temperatur-Messfühler (2), der als Interferenzkammer (20) mit wenigstens zwei angenäherten parallelen Wänden (21, 22) aus spiegelndem, dielektrischem, mehrschichtig aufgebautem Material ausgebildet ist, welche Interferenzkammer das Interferenzspektrum von zugeführtem Licht in Abhängigkeit von der Temperatur ändert, und mit mindestens einem Lichtleiter zwischen Lichtquelle und Resonator und mindestens einem Lichtsensor und nachgeschalteten elektrischen Mitteln zum Bestimmen der Intensität und/oder der Phasenlage des vom optischen Resonator (20, 21, 22, 23) kommenden Lichts und damit der Temperatur im Bereich des optischen Resonators.

2. Optisches Sensorelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Resonator ein Fabry-Perot Resonator (20, 21, 22, 23) ist, der am einen Ende des Lichtleiters angebracht ist.

3. Optisches Sensorelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Lichtquelle eine Laserdiode (51) ist.

4. Optisches Sensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens der eine Lichtsensor ein Photodioden-Array-Element (51) ist.

5. Optisches Sensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Lichtquellen (51, 52) verschiedener Wellenlänge als Quellen von Mess- bzw. Referenzlicht vorhanden sind und mit dem reflektierten Licht der beiden Lichtquellen eine Schwebungsfrequenz erzeugt wird, deren Phasenlage ein Mass für die Temperatur darstellt.

6. Optisches Sensorelement nach Anspruch 5, mit einer Lichtquelle für Licht von 660 nm und einer Lichtquelle für Licht von 840 nm Wellenlänge.

7. Optisches Sensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens der Teil (13) der Lichtleiter, der an den optischen Resonator (10) grenzt, aus einem hochtemperaturfesten Werkstoff besteht.

8. Optisches Sensorelement nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der hochtemperaturfeste Werkstoff Aluminium-Oxyd Einkristall ist.

9. Optisches Sensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Resonator reflektierende dielektrische Schichten (21, 22) aufweist.

10. Brennkraftmaschine mit einem optischen Sensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, zum Messen der Gastemperatur im Brennraum und/oder im Abgassystem.

11. Temperatur-Messfühler (2) für ein optisches Sensorelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, mit einer Interferenzkammer (20) mit wenigstens zwei angenähert parallelen Wänden (21, 22) aus spiegelndem, dielektrischem, mehrschichtig aufgebautem Material.

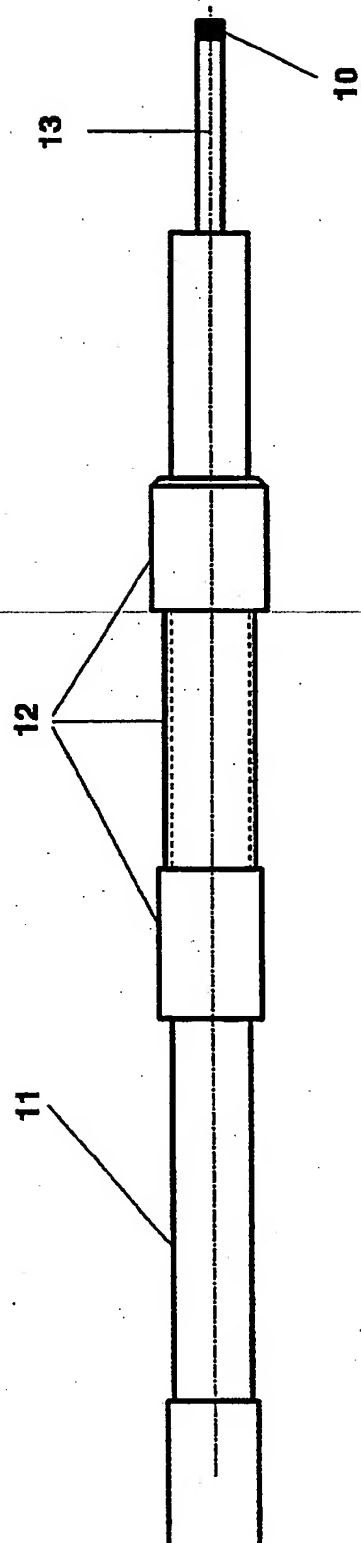


Fig. 1

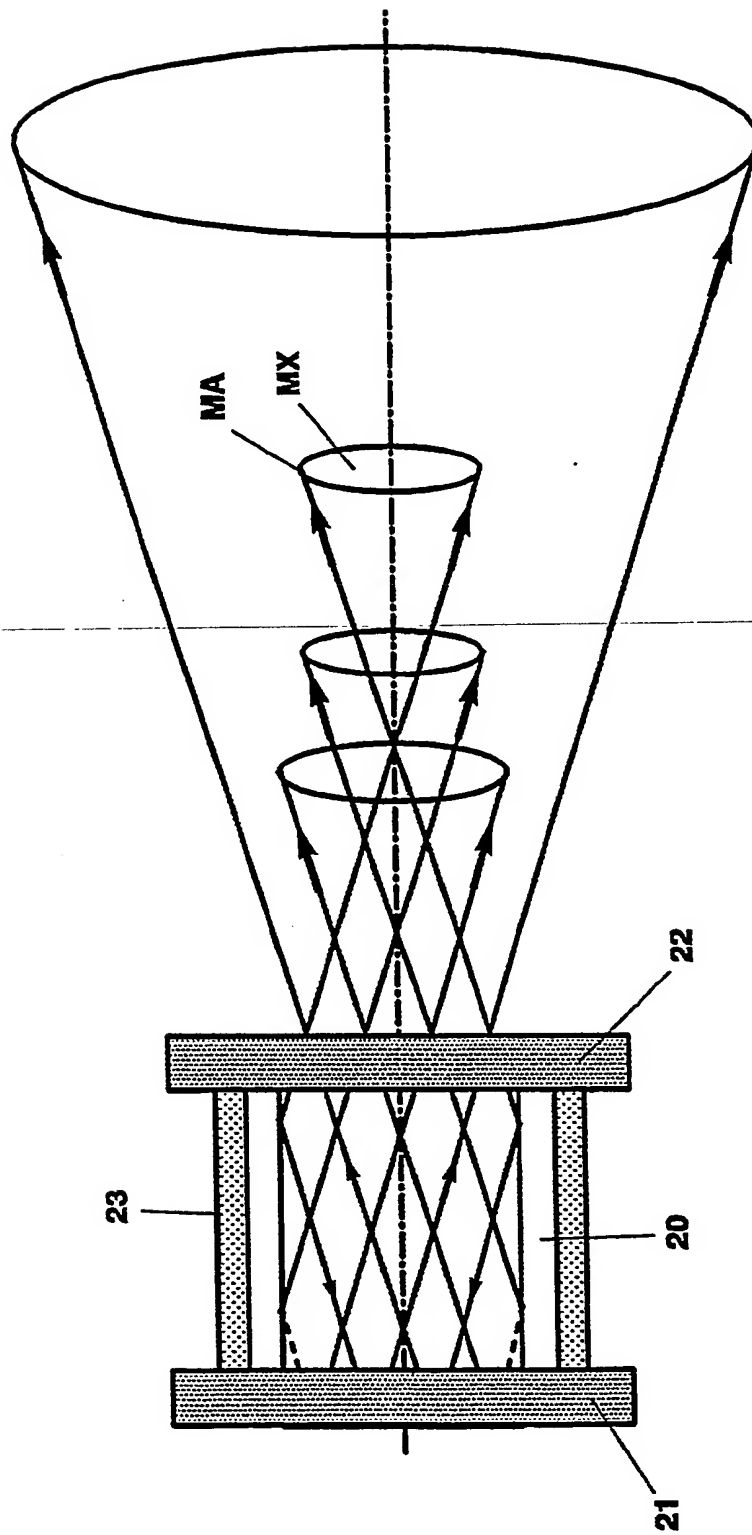


Fig. 2

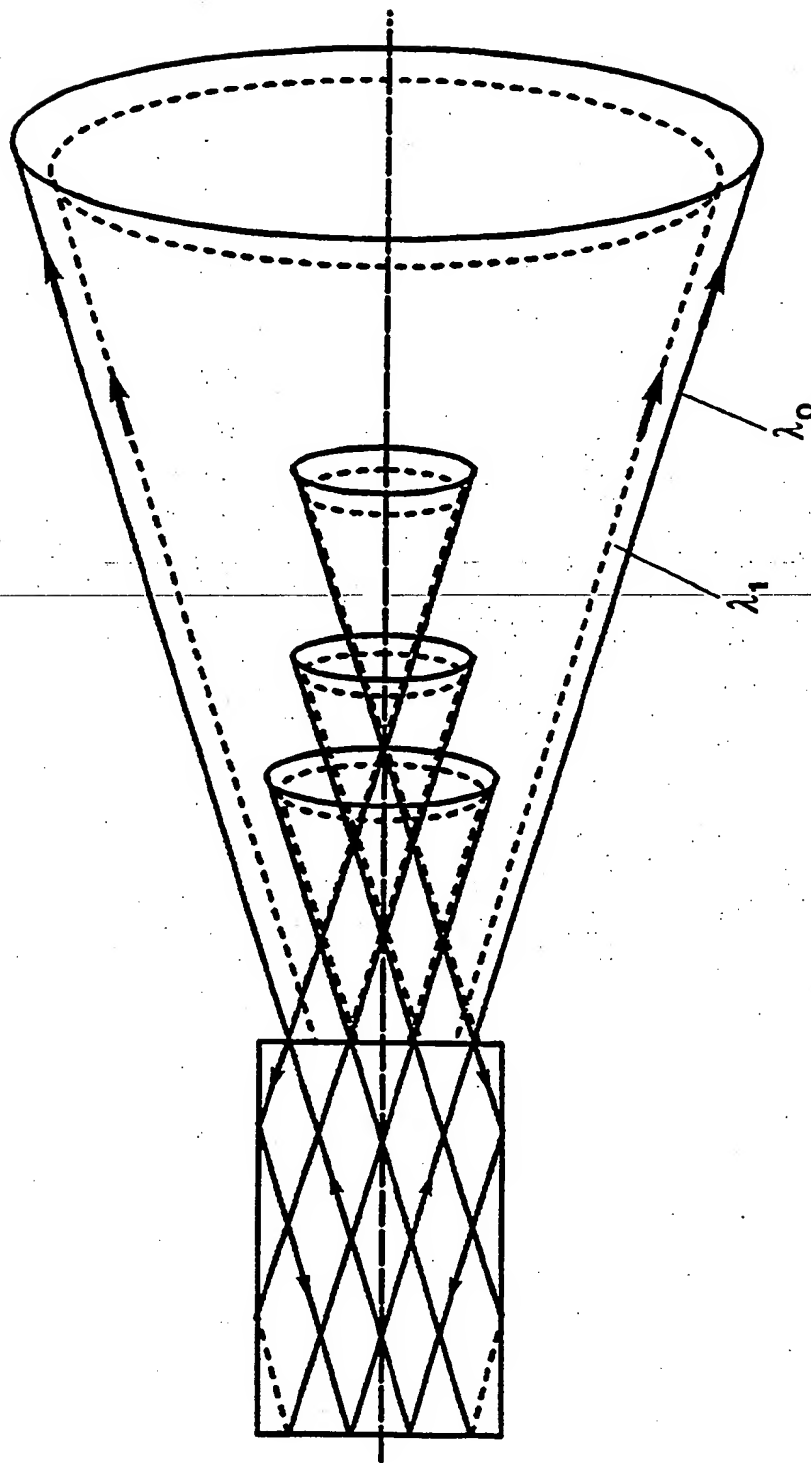


Fig. 3

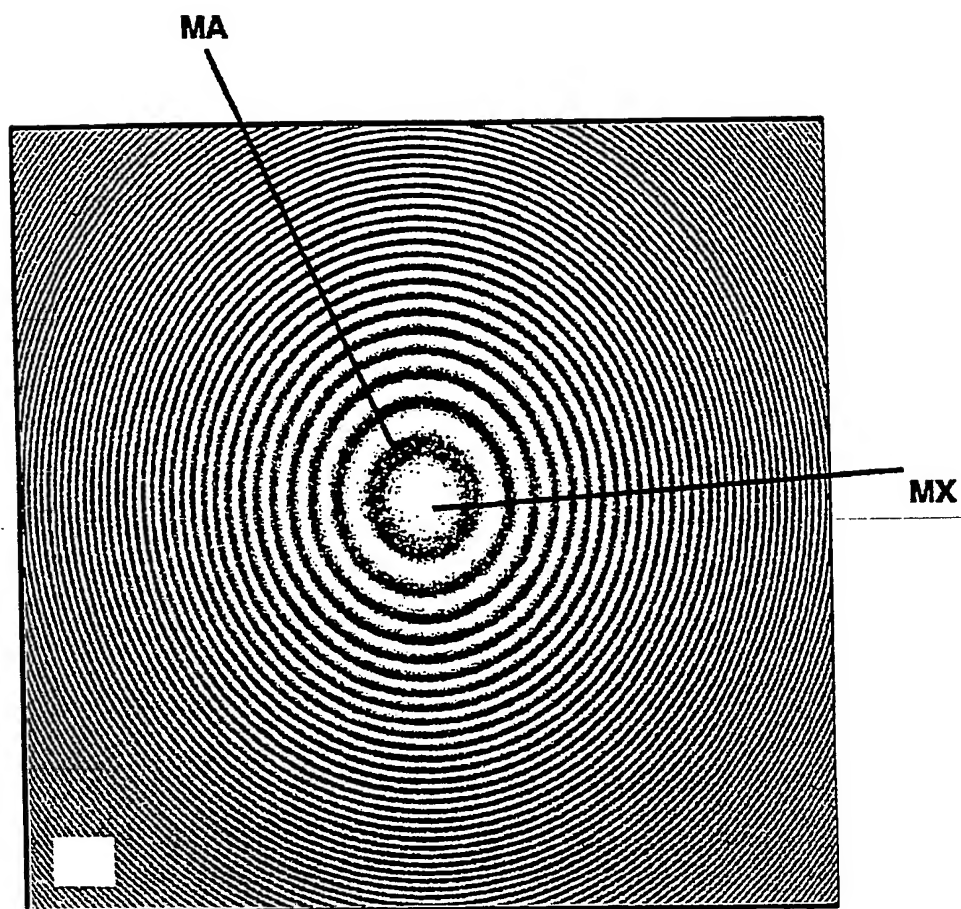


Fig. 4

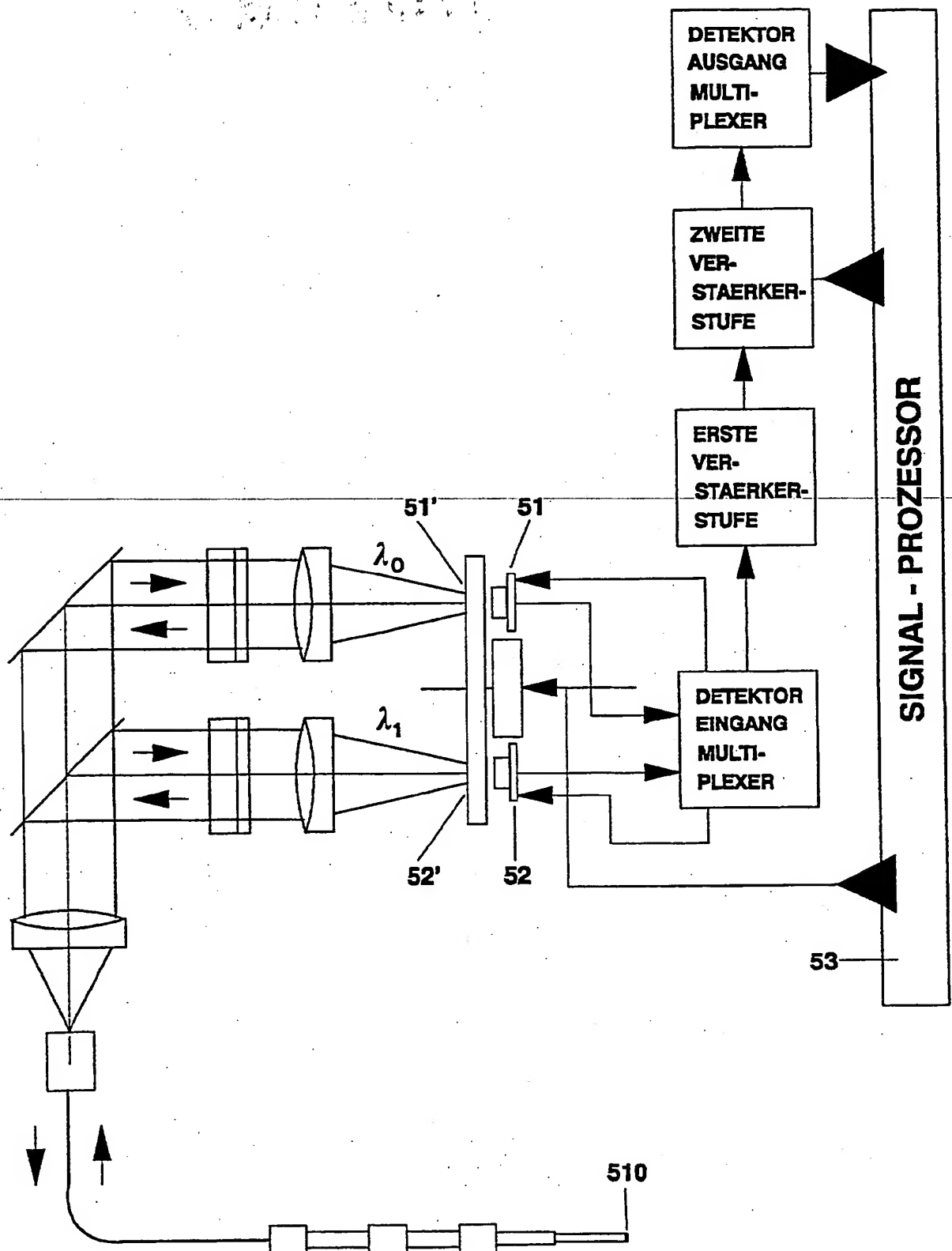


Fig. 5

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)